

УДК 691.339

Бабич Я. О., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО ҐРУНТОВИХ ФРЕЗЕРНИХ РОЗПУШУВАЧІВ

Проведено аналіз робіт із різання ґрунтів фрезерними робочими органами.

Ключові слова: ґрунтова фреза, сила різання, швидкість різання, стружка, ніж.

В якості основного ріжучого елемента ножів в ґрунтових фрезах використовується тригранний клин. В роботах В.Н. Горячкіна [1] доведено, що основними параметрами такого клина є кут різання α_p , кут загострення β_3 , задній кут $\delta_{зд}$, кут захвату γ_3 . Причому при різанні зв'язних ґрунтів спочатку відбувається ущільнення стружки, що знімається і потім зсув по площинах дотичних напружень. Деформована стружка під напором ґрунту, який знову надходить переміщується по робочій поверхні клина. В пластичних вологих ґрунтах при достатньо малих кутах різання зсув не відбувається і ґрунт переміщується по робочій поверхні клина у вигляді зливної стружки.

А.Н. Зеленін розробив уточнену теорію різання ґрунтів клином, яка базується на основних положеннях механіки суцільного середовища і теорії міцності О. Мора з використанням експериментальних даних по ґрунтах з урахуванням параметрів робочих органів і їх співвідношенню [2; 3; 4; 5]. В якості міцнісної характеристики ґрунтів приймається зсув, як основна деформація руйнування. Зв'язок між опором зсуву τ_c і нормальним напруженням σ_n по площині зсуву виражається залежністю

$$\tau_s = c_0 + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi_\tau, \quad (1)$$

де c_0 – питома сила зчеплення; φ_τ – кут внутрішнього тертя.

Значну дослідницьку роботу із різання ґрунтів виконав Ю.А. Ветров [6; 7; 8]. Основними геометричними умовами відділення ґрунтової стружки, за його твердженням, варто вважати положення кромки ріжучого клина відносно напрямку різання і поверхні масиву, обрису ріжучої кромки, кількості робочих поверхонь ріжучого клина. Опір ґрунту різанню стає переважною частиною робочого опору машини починаючи від середнього питомого опору ґрунту різанню, рівного

35 Н/см². Причому на силу різання значний вплив здійснює кут різання. Збільшення цього кута більше 45°, а також і надмірне зменшення його (менше 35°) супроводжується підвищенням енергомисткості процесу різання.

Ю.А. Ветровим також отримані розрахункові залежності для визначення сил різання горизонтальним профілем із врахуванням площі нанесу або затуплення. Згідно із його дослідженнями, початкове затуплення ріжучої кромки залежить від типу розроблюваного ґрунту. При цьому затуплення зменшується до радіуса 1...2 мм. Додаткову силу різання, яка враховує вплив швидкості різання, пропонується визначити за формулою

$$\Delta R = \frac{s \cdot \rho_p v_p^2}{g} \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \cos \psi}{\sin(\alpha + \psi)}, \quad (2)$$

де ρ – об'ємна густина ґрунту;

v_p – швидкість різання;

ψ – кут між траєкторією руху ріжучої кромки і напрямком руху відокремлених шматків;

Розрахунки виконані за формулою (2), показують, що вплив складової ΔR стає помітним при $v_p > 5$ м/с. Д.І. Федоровим [9; 10] встановлено, що в залежності від ґрунтових умов, товщина стружки, схеми різання і кута різання початок утворення тріщини сколу в стружці будуть зміщуватися по передній грані ріжучого елемента, в той або інший бік. При малих кутах різання і малій товщині стружки тріщина буде утворюватися ближче до ріжучої кромки, при збільшенні кута різання і товщини стружки місце утворення тріщини буде переміщуватися до денної поверхні ґрунту. В.А. Желіговський [11] всі випадки різання розбив на три групи: 1) – різання нормальним тиском без участі дотичної сили і без поздовжніх переміщень; 2) – різання із участю дотичної сили і поздовжнього переміщення, але без ковзання (кут захвату не перевищує подвійного кута тертя ріжучої кромки по ґрунту); 3) – різання з участю дотичної і з ковзанням.

С.П. Огородніков [12] показав, розподіл тисків в зоні деформування ґрунту при різанні, як в напрямку швидкості різання, так і перпендикулярно їй підкоряється параболічному закону.

М.В. Саблуков [13] встановив, що обволікування ріжучих кромок рослинними залишками супроводжується підвищенням енергомисткості і утворенням завалів. Ним розроблений метод, який дозволяє досліджувати процес взаємодії рослинності із ріжучими елементами, а також динаміку кута тертя рослинності по ріжучій кромці в ґрунті. Подібні дослідження були проведені Б.Л. Кравченко [14].

Питанням дослідження процесів різання ґрунту фрезами присвячений ряд робіт.

В дослідженнях А.Д. Даліна [15], Г.Н. Синеокова і І.М. Панова [16], М.В. Ціммермана [17], М.В. Полтавцева [18], Ф.М. Канарева [19], В.К. Шаршака і В.В. Сконодобова [20], Н.М. Кльоніна і В.А. Сокуна [21] і ін. встановлено, що сила різання ґрунтовою фрезою значною мірою залежить від швидкості різання і швидкості руху агрегату. Ними також отримані аналітичні залежності для визначення траєкторії руху ріжучої кромки, товщини стружки, оптимальної швидкості різання, кута різання, крутного моменту на валу фрезерного барабана.

Доведено, що траєкторією абсолютного руху точок ножа фрези є трохіода рівняння якої має вигляд:

$$\begin{aligned}x &= v_a \cdot t + R_p \cdot \cos \omega_\phi t ; \\y &= R_p (1 - \sin \omega_\phi \cdot t ,\end{aligned}\quad (3)$$

де v_a – поступальна швидкість руху агрегату;

R_p – радіус різання;

ω_ϕ – кутова швидкість фрези.

Площа перерізу стружки, що зрізується визначається із виразу:

$$F = b \cdot S \cdot \sin \omega_\phi \cdot t, \quad (4)$$

де b – площа захоплення одного ножа; S – подача на один ніж.

Висота гребенів c знаходиться за формулою

$$c = R_p + [1 - \cos \frac{S}{2R_p (\frac{v_a}{v_{окр}} \pm 1)}] \cdot \quad (5)$$

М.С. Хоменко і М.І. Гришин [22] отримали залежність для визначення оптимального співвідношення між окружною $v_{окр}$ і поступальною v_a швидкістю фрези – кінематичний показник режиму роботи фрези.

$$\lambda = \frac{v_{окр}}{v_a} = \frac{R [\frac{\pi(z+2)}{2z} - \arcsin(1 - \frac{c}{R_p})]}{\sqrt{2R_p c - c^2}}, \quad (6)$$

де z – кількість ножів у одній секції фрези.

Т.Д. Колесников [23] рекомендує при фрезеруванні задернованих земель приймати $\lambda=10$.

Л.А. Скворцов і ін. [24] отримали вираз для визначення потужності, яка затрачається на транспортування ґрунту фрезою.

$$N_{тр} = K_{розм.} \cdot P_{тр} \cdot R_p,$$

де $K_{розм}$ – коефіцієнт розмивання ґрунту водою ($K_{розм}=0,6...07$)

$$P_{mp} = 11,5 \cdot 10^7 \gamma_{ep} b \frac{t_{mp}}{R_p} \left(\frac{H_z}{\varphi_k} \right)^3 \left(\frac{1}{v_o} - 0,3 \right) (v_a + 0,222), \quad (7)$$

де γ_{ep} – густина ґрунту;

t_{mp} – крок ножів;

φ_k – кут контакту фрези із ґрунтом.

І.А. Ісрафілов [25] пропонує кут різання ножів ґрунтової фрези приймати рівним 35...40°, задній кут 10...15°, а кут заточки 25...30°.

Н.Е. Резнік [26] встановив, що питома робота різання залежить від кута заточки протиріжучих пластин, чим менший цей кут тим нижча енергомісткість процесу різання.

Ним отриманий вираз для визначення питомої роботи різання в залежності від зазору між ножами і протиріжучими пластинами

$$A_{num} = K_c \cdot A^m + C_p, \quad (8)$$

де K_c – коефіцієнт, який залежить від властивостей перерізуваного матеріалу;

A – зазор між протиріжучими пластинами;

m – показник степеня;

C_p – постійна складова.

Дослідами Б.У. Дубровського [27] встановлено, що при роботі ґрунтових фрез коливання крутного моменту являються періодичними, високої частоти, із повільно змінними середніми значеннями і амплітудою. Такий характер коливань обумовлений імпульсною дією ножів фрези на ґрунт. Частота періодичних коливань силового процесу обумовлена частотою обертання фрезерного барабана, швидкість поступального руху машини і фазовою розстановкою ножів (рядна, в шаховому порядку, спіральна).

Амплітуди і середні значення коливань залежать від характеру зміни рельєфу і щільності ґрунту.

Процес коливань крутного моменту може бути представлений у вигляді

$$M(t) = M_{cp} + M(t), \quad (9)$$

де M_{cp} – поточне середнє значення;

$M(t)$ – високочастотна складова коливань, обумовлена ударним характером роботи ножів.

Причому $M(t) = \dot{M}(t) \cos(\omega_0 t)$,

де $\dot{M}(t)$ – огибаюча процесу $M(t)$;

ω_0 – несуча частота, постійна для вибраного режиму роботи фрези.

С.Х. Медвідь [28] довів, що мінімальна енергомисткість різання ґрунту досягається в тому випадку, коли радіус кривизни ножа рівний радіусу різання.

А.О. Лук'янов [29] стверджує, що найменший опір різанню при пошаровому зніманні стружки має місце в тому випадку, коли радіус кривизни ножа описується параболою другого порядку.

В.К. Шаршак і В.В. Сконодобов [20] відмічають, що при малих кутах різання напрямку дії сили з боку ґрунту відхиляється від нормалі до робочого органа на величину більшу кута тертя. В цьому випадку частинки ґрунту переміщуються по поверхні леза, тобто реалізується різання із ковзанням.

Для великих кутів різання напрямку рівнодіючої опору ґрунту знаходиться всередині конуса тертя, частинки ґрунту при цьому безпосередньо по поверхні леза не можуть переміщуватися і в цьому випадку реалізується різання без ковзання.

Методику експериментального визначення крутного моменту на валу фрезбарабана розробив Л.А. Петров [30]. Питомі енергомисткість фрезерування наносів відповідно до його досліджень складає $0,09...02,1$ кВт·год/м³. Аналогічні дослідження були проведені І.А. Ісрафіловим [31]. Ним було встановлено, що питомий опір різання мінеральних ґрунтів складає $0,3...0,4$ МПа, торфових $0,15...0,2$ МПа.

Виконаний аналіз робіт дозволяє заключити, що достатньо детально досліджений процес розробки так званих «чистих ґрунтів» ротаційними робочими органами, без наявності рослинних включень. Однак робота фрез у задернілих ґрунтах при наявності високостебельної рослинності досліджена недостатньо. Тому актуальним є питання дослідження роботи фрез у задернілих ґрунтах при наявності рослинності і води.

1. Горячкин В. П. Собрание починений / В. П. Горячкин. – М. : Колос, Т.ІІ., 1968. – 455 с.
2. Зеленин А. Н. Физические основы теории резания / А. Н. Зеленин. – М.-Л. Изд. АН СССР, 1950. – 354 с.
3. Зеленин А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами / А. Н. Зеленин. – М. : Машиностроение, 1968. – 376 с.
4. Зеленин А. Н. Лабораторный практикум по резанию грунтов / Зеленин А. Н., Карасев Г. Н., Красильников Л. В. – М. : Высшая школа, 1969. – 310 с.
5. Зеленин А. Н. Машины для земляных работ / Зеленин А. Н., Баловнев А. И., Керов И. П. – М. : Машиностроение, 1975. – 424 с.
6. Ветров Ю. А. Расчет сил резания и копания грунтов / Ю. А. Ветров. – Изд. Киевского университета, 1965. – 168 с.
7. Ветров Ю. А. Резание грунтов землеройными машинами / Ю. А. Ветров. – М. : Машиностроение, 1971. – 357 с.
8. Машины для земляных работ / Ю. А. Ветров, А. А. Корхов, А. С. Конуро,

В. П. Станевский. – Киев : Вища школа, 1981. – 384 с. **9.** Федоров Д. И. Исследования резания грунтов и испытания ковшей драглайнов новой формы / Д. И. Федоров. – М. : Трансжелдориздат, 1961. – 96 с. **10.** Федоров Д. И. Машины для земляных работ / Д. И. Федоров // Труды ЦННИС. – Вып. 77. – С. 3–14. **11.** Желиговский В. А. Экспериментальная теория резания лезвием / В. А. Желиговский // Труды МИМЭСХ, вып. 9. – М., 1940. – 27 с. **12.** Огородников С. П. Гидромеханизация разработки грунтов / С. П. Огородников. – М. : Стройиздат, 1986. – 256 с. **13.** Саблуков М. В. Сельскохозяйственные машины / М. В. Саблуков. – Ч. 2. Основы теории и технологического расчета. – М. : Колос, 1958. – 296 с. **14.** Кравченко Б. И. Определение сил взаимодействия между сорняком, лезвием и величиной перекрытия лап / Б. И. Кравченко // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – № 10. – 1971. – С. 42–44. **15.** Далин А. Д. Ротационные грунтообрабатывающие и землеройные машины / Далин А. Д., Павлов П. В. – М. : Машгиз, 1950. – 246 с. **16.** Синеоков Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Синеоков Г. Н., Панов И. М. – М. : Машиностроение, 1977. – 326 с. **17.** Циммерман М. З. Рабочие органы почвообрабатывающих машин / М. З. Циммерман. – М. : Машиностроение, 1978. – 294 с. **18.** Полтавцев И. С. Фрезерные каналокопатели / И. С. Полтавцев. – М. : Машгиз, 1954. – 155 с. **19.** Канарев Ф. М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия / Ф. М. Канарев. – М. : Машиностроение, 1983. – 142 с. **20.** Шаршак В. К. Подпокровные фрезерователи для солонцовых почв / Шаршак В. К., Сконодобов В. В. – Изд-во Ростовского госуниверситета, 1966. – 104 с. **21.** Кленин Н. И., Попов И. Ф., Сакун В. А. Сельскохозяйственные машины / Кленин Н. И., Попов И. Ф., Сакун В. А. – М. : Колос, 1970. – 456 с. **22.** Хоменко М. С. К вопросу основной обработки почвы копающими рабочими органами / Хоменко М. С., Грицышин М. И. // Механизация сельскохозяйственного производства. – Вып. 43. – Киев : Изд. УСХА, 1971. – С. 72–77. **23.** Колесников Т. Д. Поверхностное улучшение сенокосов и пастбищ методом фрезерования / Т. Д. Колесников // Труды Великолукского сельскохозяйственного института, вып. VII. Великие Луки, 1969. – С. 438–443. **24.** Скворцов Л. А. Сопротивление транспортированию грунта из забоя безковшовым ротором / Скворцов Л. А., Вакульцев И. Ф., Сергеев В. Л. // Строительные и дорожные машины. – 1974. – № 6. – С. 17–18. **25.** Исрафилов И. А. Угловые параметры лопастей фрезерных каналочистителей / И. А. Исрафилов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – № 1. – 1973. – С. 20–22. **26.** Резник Н. Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н. Е. Резник. – М. : Машиностроение, 1975. – 311 с. **27.** Дубровский Б. У. Исследование рабочего процесса пропашного фрезерного культиватора : дисс.канд. техн. наук / Б. У. Дубровский. – Ленинград, 1974. **28.** Медвидь С. Ф. Параметры и режимы

работы разгрузочного устройства для повышения эффективности многоквального каналаочистителя : дисс. канд. техн. наук / С. Ф. Медвидь. – Ленинград, 1986. **29.** Лукьянов А. Д. Оптимальная форма режущего элемента фрезы / Лукьянов А. Д. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – № 10, 1983. – С. 18. **30.** Петров Л. А. Исследование и обоснование параметров и режимов работы комбинированного фрезерно-роторного рабочего органа к каналаочистительным машинам : дисс. канд.техн. наук / Л. А. Петров. – Ленинград, 1980. **31.** Исрафилов П. А. Сопротивление при разработке грунта фрезерным каналаочистителем / П. А. Исрафилов // Строительные и дорожные машины. – 1976. – № 8. – С. 9–10.

Рецензент: д.т.н., профессор Кравець С. В. (НУВГП)

Babych Y. O., Candidate of Engineering, Associate Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

STUDY REVIEW OF SOIL CUTTER HEAD

The analysis of works is conducted from cutting of soils by milling working organs.

***Keywords:* ground milling cutter, cutting force, cutting speed, shaving, knife.**

Бабич Я. О., к.т.н., доцент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ О ГРУНТОВЫХ ФРЕЗЕРНЫХ РЫХЛИТЕЛЯХ

Выполнен анализ работ по резанию грунтов фрезерными рабочими органами.

***Ключевые слова:* грунтовая фреза, сила резания, скорость резания, стружка, нож.**
